

A tamáshidai rombazilika restaurálásának támogatása digitális, nagy pontosságú, fotorealisztikus térmodellezéssel

Erdélyi Marcell – Csomortányi Adél

DOI: <https://doi.org/10.30921/GK.70.2018.6.3>

1. Bevezetés

A tamáshidai Árpád-kori rombazilika a magyar Alföld keleti peremének egyik legfontosabb és művelődéstörténeti szempontból egyedülálló épített emléke. A település maga a jelenlegi államhatártól alig tíz kilométerre, a Fekete-Körös északi partján, az Arad-Nagyvárad országúttól mintegy három perc autótútnyra fekszik. A XIII. század második felében, a romantika jegyében épült, eredetileg háromhajós, robusztus westwerkkal ellátott téglaszerkezetű bazilikából mára csupán a torony és az azt szegélyező oldalhajóindítások, valamint az ezektől elkülönülő, még ép boltozatú félköríves záródású szentély maradt meg.

Legnagyobb hosszúsága 27 m, szélessége 15 m. Az épület története mutatja ezen országrész magyarságának zaklatott történelmét, hiszen egykor a virágzó Tamáshida mezőváros templomával együtt lett a törökidús áldozata. Ezt követően a térségben számbeli kisebbségbe szorult magyarság a települést is csak részben tudta újra betelepíteni és a csekély, már protestáns lakosság nem is vette újra használatba egykori templomát. Azt főúri kápolnaként, majd gabonaraktárként és kocsi-színként használták, végül pedig a XX. század második felétől teljesen kihasználatlanul, megsemmisült tetőszerkezettel állta és állja az időjárás viszontagságait, várja jobb sorsát. A történelmi műemlékek országos és a Bihar megyei nyilvántartásában a tamáshidai rombazilika a BH-I-s-B-01020LMI nyilvántartási kóddal és „Ruină de biserică” (templomrom) névvel szerepel.

E történelmi műemlék megmentésének reménye 2013-ban derengett fel, mikor a román vezetésű községi önkormányzat 49 évre átadta az épület használati jogát a nagyváradi Pro Partium Egyesületnek, amely célul tűzte ki a műemlék jövőbeni rehabilitációját. E merész elgondolás számottevő anyagi,

műszaki és tudományos lehetőségek, adottságok időbeni mozgósítását és hatékony felhasználását igényli.

A kitűzött cél megvalósításának kezdő lépése a rombazilika első, műszaki szempontból is értelmezhető felmérése, melynek eredménye a rehabilitáció megvalósításának különböző munkafázisai által igényelt információkat biztosítja. Ezt a feladatot a nagyváradi székhelyű MASTER CAD Kft., a XXI. század első évtizedeit jellemző digitalizációs színvonalnak megfelelő földmérési technológia alkalmazásával oldotta meg. Az alkalmazott technológia eredménye a tamáshidai rombazilika, mint modellezett, digitális, nagy pontosságú, fotorealisztikus térmodellje; a modell, amely a modellezettnek hiteles méret-, alak- és látványhű digitális mása, amely a tervezés és kivitelezés során adatforrásként értelmezhető és hatékonyan használható.

A komplex digitális technológiánk gyakorlati alkalmazása során három munkafázisban oldottuk meg a célirányos feladatokat: terepen az adatgyűjtést, irodában a szabatos adatfeldolgozást és a termék-előállítását.

A terepi adatgyűjtés részeként a szükséges méret és alak hitelességének biztosítása érdekében, terepen jelölt pontokból álló felmérési hálózatot létesítettünk. A felmérési hálózat pontjainak a megfelelő vonatkoztatási rendszerbe való illesztését vektoralapú hagyományos és műholdas GNSS RTK-módszerekkel végeztük. A felmérési hálózat pontjaira támaszkodva három típusú, terepen jelölt, az épület megmaradt falaira lézersugárral vetített és jellegzetes, jól azonosítható, megfelelő számú és helyzetű, választott illesztőpontot határoztunk meg. Az így meghatározott illesztőpontok a munka eredményének, az 1:1 méretarányú modellnek a megfelelő pontosságát és az általunk megfelelően választott helyi, valamint a hivatalos romániai vonatkoztatási rendszerbe illesztését

biztosítják. Az adatgyűjtést megfelelő számú, célirányosan készített légi és földi digitális fényképek készítésével fejeztük be.

Az irodai munkánk során a vektoralapú, hagyományos módszerrel gyűjtött adatok és a raszteralapú digitális fényképek szabatos feldolgozását és az adatfeldolgozás eredményeire támaszkodó termék-előállítást valósítottuk meg. Az adatfeldolgozás végeredménye a pontfelhő. Alaptermékként 3D-s modellt generáltuk, majd azt adatforrásként felhasználva, egy sor, a tervezés folyamatában szükséges levezetett terméket szerkesztettünk. Az adatgyűjtés, adatfeldolgozás és termék-előállítás eredményeinek megjelenítését 2D-s és 3D-s nyomtatással oldottuk meg.

Cikkünkben az elvégzett munkát, annak eredményeit, az egymást követő, alkalmazott technológiát, az adatgyűjtést, adatfeldolgozást, termék-előállítást és a következtetéseket tartalmazó pontokban mutatjuk be.

2. Alkalmazott technológia

Értelmezésünk szerint a földmérési digitális technológia egy meghatározott termék szakmai normáknak megfelelő digitális előállítása érdekében, a szükséges adatok gyűjtése, feldolgozása és termék-előállítás során, kellő szakmai felkészültséggel rendelkező személyzet által alkalmazott eszközök, módszerek, műveletek, megoldások és eljárások összessége. A vállalt feladat megoldása érdekében megfelelő digitális technológiát dolgoztunk ki, megteremtve ezzel a terepi adatgyűjtés és az irodai adatfeldolgozás, valamint termék-előállítás optimális technikai feltételeit. A kidolgozott technológiánk a következő négy összetevőből áll:

- Technikai összetevő, amely a különböző feladatok elvégzésére gyártott műszerekbe beépített, modern technikai megvalósítások sorát tartalmazza

- Humán összetevő, az emberi képességek, kapacitások útján konkretizálódnak, amelyek mérnöki és doktori felkészüléssel rendelkező szakembereink elméleti és gyakorlati tudásában nyilvánul meg, megalapozva az elvégzendő feladatok sikeres megoldását
- Informatikai összetevő, amelyet az elektronikus informatikai regiszterek és szakmai normák, utasítások kodifikált ismeretei alkotják, a következő összetételben:
 - Professzionális programrendszerek, amelyek a fizikai összetevők megfelelő működését biztosítják a megvalósítandó termékekkel kapcsolatos problémák megoldásának folyamatában
 - Érvényes szakmai normák, utasítások, amelyek a szakma munkáira vonatkoznak
- Szervezési összetevő, cégünk szervezési kompetenciáit tartalmazza, amelyekkel megszervezzük a:
 - A rendelkezésünkre álló erőforrások megfelelő szerkezetét
 - A terepi és irodai munkafázisok optimális folyamatát.

Technológiánk összetevőit célirányosan használtuk a szükséges terepi és irodai feladatok optimális megoldása érdekében. Az alkalmazott technológiánk során elvégzett, egymást követő munkafázisok folyamata az adatgyűjtéssel, adatfeldolgozással és termék-előállításal biztosította a térmodellezés sikeres megvalósítását. Ebben a

folyamatban egy munkafázis eredményei az azt követőnek a kiindulási adatait szolgáltatta.

3. Adatgyűjtés

A modellezéshez szükséges adatokat terepen, a munkaterületen, a kialakított technológiánk megfelelő alkalmazásával gyűjtöttük. A terepi adatgyűjtés során megfelelő módon, hatékonyan kombináltuk a vektor-, illetve raszteralapú megoldásokat. A terepmunka 6 órát vett igénybe a következő, egymást követő munkafázisokban: a munkazóna megismerése, a felmérési hálózat pontjainak, valamint az illesztőpontok helyének és számának meghatározása, az illesztőpontok megfelelő terepi jelölése, a pontok meghatározási adatainak vektoralapú hagyományos és GNSS RTK-, valamint raszteralapú gyűjtése. A következőkben bemutatjuk a terepmunka megvalósítási módjait, amelyek a tamáshidai rombazilika digitális térmodellezéséhez szükséges adatokat generálták, és leírjuk az elvégzett munkafázisok vég-eredményeit, a gyűjtött adatokat.

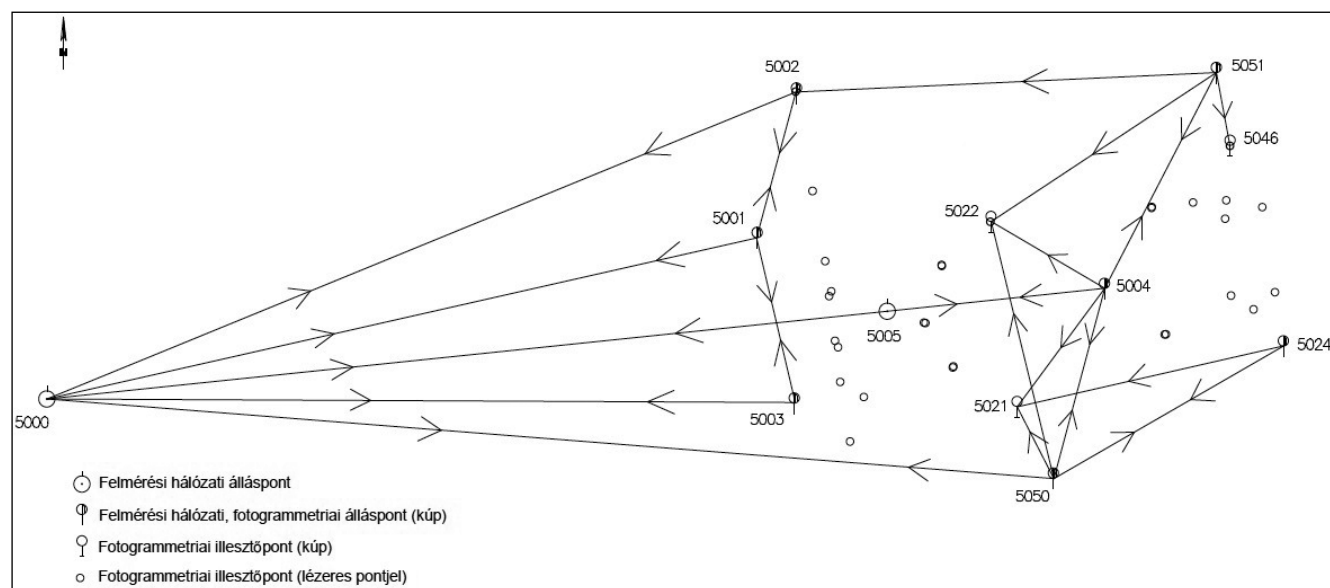
3.1. A munkaterület bemutatása

A rombazilika Tamáshida helység belterületének déli részén, a Fekete-Körös jobb partjához közel, a 83-as adminisztratív (postai) számú ingatlan téglalapalakú területén található. A munkazóna közelében nem azonosítottunk meglévő geodéziai

pontokat, amelyek felhasználásával megoldható lett volna a koordinátáknak a romániai hivatalos vonatkoztatási rendszerbe való illesztése. Ezért a megoldást a műholdas GNSS RTK valós idejű pontmeghatározási módszer alkalmazása biztosíthatja. A romániai hivatalos vonatkoztatási rendszer sztereografikus vetületének (STEREO70) a munkazónára számított lineáris deformációs koefficiens (vetületi méretarány tényező) középértéke $m_1 = 1,0002133$, ami nem elhanyagolható távolságtorzuláshoz vezet, negatívan befolyásolva a modellezéshez szükséges pontok meghatározási és – közvetve – a megvalósítandó térmodell pontosságát. Ennek kiküszöbölésére egy megfelelően választott helyi vonatkoztatási rendszer alkalmazása jelentheti a megoldást. Ezek a tények meghatározták a terepmunka tervezését, megszervezését és végrehajtását.

3.2. A felmérési hálózat pontjainak, valamint az illesztőpontok helyének és számának meghatározása

A munkazóna geodéziai sajátosságai, a romániai hivatalos vonatkoztatási rendszerbe illesztéshez és a nagy pontosságú térmodellezési technológiát alkalmazó modellezéshez szükséges pontok elméleti számának és helyének figyelembevételével határoztuk meg a konkrét pontszámokat és ponthelyeket, a következőképpen:



1. ábra. Áttekintő vázlat a felmérési hálózati és illesztőpontok elhelyezkedéséről

- 11 felmérési hálózati pont, a munkazóna területén megfelelő geometriai konfigurációt biztosítva, ezekből 10 illesztőpont is
- 41 fotogrammetriai illesztőpont, amelyek közül 10 a munkazóna területén, 31 pedig a rombazilika külső és belső falain helyezkedik el.

A pontok típusát és a valós térben elfoglalt helyüket az 1. ábra szemlélteti.

3.3. A fotogrammetriai illesztőpontok jelölése

Az illesztőpontok jelölését a raszteres adatgyűjtés (digitális fényképezés) előtt, a pontok elhelyezkedése függvényében a megfelelő módon végeztük. A jelölés biztosítja a pontok megbízható azonosítását a fényképeken a következőképpen:

- 10 pontot (amelyek a felmérési hálózat pontjai is) a pontokra centrikusan elhelyezett 23 cm magas műanyag kúpokkal jelöltünk,
- 5 pontot a rombazilika belső falaira lézersugárral vetítettünk.

Ezek a pontokon kívül még további 26 pontot, a rombazilika külső és belső falain, úgy választottunk, hogy azok jól azonosíthatóak legyenek a fényképeken.

3.4. Adatgyűjtés vektoralapú, hagyományos módszerrel

Az alkalmazott technológián belül ezzel a módszerrel gyűjtöttük a felmérési hálózat pontjainak, egy megfelelően választott helyi vonatkoztatási rendszerben való adatait. Az adatgyűjtést a **Trimble5605DR** robot-mérőállomással végeztük. A mért pontokat, a mérések és a gyűjtött adatok számát, a pontok típusa szerint csoportosítva, a 1. táblázat tartalmazza.

A gyűjtött adatok biztosítják a 42 mért pont meghatározását egy megfelelően választott vonatkozási rendszerben.

1. táblázat

A mért pontok típusa	Szám		Gyűjtött adatok száma				
	Jelölt pontok	Mérések	Távolság S		Szög		ÖSSZESEN
			Prizmára EDM	Prizma nélküli DR	Vízszintes H	Függőleges V	
Felmérési hálózat pontja	11	35	35	-	35	35	105
Illesztőpont	31	31	-	31	31	31	93
ÖSSZESEN	42	66	35	31	66	66	198

3.5. Adatgyűjtés vektoralapú, műholdas GNSS RTK-módszerrel

Az alkalmazott technológiánk keretein belül ezt a módszert a felmérési hálózat 8 pontjának a romániai hivatalos vonatkoztatási rendszerbe való illesztése céljából választottuk. A műholdas GNSS RTK-módszert a valós idejű pontmeghatározást biztosító ROMPOS-rendszer paramétereinek megfelelő beállításával alkalmaztuk a **Stonex S800** vevő segítségével. Minden $P_{i=1..8}$ pontban 10 csoport műholdjelet, azaz helymeghatározási adatot rögzítettünk. Így minden mért pontra, a hivatalos romániai vonatkoztatási rendszerben meghatározott, 10 sor $P_i (XYZ)_{j=1..10}$ koordinátát kaptunk, amelyeknek a középpértékét fogadtuk el. A P_i pontok így meghatározott $(XYZ)_i$ koordinátáit a munka során a helyi vonatkoztatási rendszerben meghatározott $P_{k=1..42}$ pontok $(XYZ)_k$ koordinátáinak a romániai hivatalos vonatkoztatási rendszerbe való átalakításánál használjuk.

A mért pontokat, a mérések és a gyűjtött adatok számát, a pontok típusa szerint csoportosítva a 2. táblázat tartalmazza.

3.6. Adatgyűjtés raszteralapú, digitális fényképezési módszerrel

A raszteralapú adatgyűjtést az elvárt pontosság elérése érdekében, megfelelően választott paraméterek beállításával, célirányosan végzett fényképezéssel oldottuk meg. A munka során a légi és földi fényképezés módszereit alkalmaztuk. A légi

fényképezést nagyjából függőleges felvételezési iránnyal, 30 m magasságból, a **Nikon D3200** digitális fényképezőgéppel felszerelt **LRAR (Légi Raszteres Adatgyűjtő Rendszer – MK OktoXL)** oktokopterplatformmal programozott, automata működtetésével végeztük. A légi fényképek megfelelő módon lefedik a munkazónát. A földi fényképezést nagyjából vízszintes, különböző tájolású felvételezési irányokkal, a **Nikon D3200** és **Sony DSLR-A350X** digitális fényképezőgépekkel végeztük. A készített fényképek megfelelő módon lefedik a rombazilika épületmaradványainak külső és belső falait. E két digitális fényképezési módszerrel 909 fényképet készítettünk, ebből 35 a légi és 874 a földi felvétel. Ezek a fényképek a szabatos fotogrammetriai adatfeldolgozás, fotogrammetriai pontmeghatározás és a térmodellezés kiinduló adatait hordozzák.

4. Adatfeldolgozás

Ebben a munkafázisban a terepen gyűjtött vektor- és raszteralapú adatok feldolgozását a megfelelően választott helyi vonatkoztatási rendszerben, a rendelkezésünkre álló, szabatos adatfeldolgozást biztosító, professzionális programrendszerek célirányos felhasználásával végeztük.

A munka eredményeinek a romániai hivatalos vonatkoztatási rendszerbe való transzformálásának feltételeit, a közös pontok műholdas GNSS RTK-val meghatározott koordinátáit használva, megfelelő módon biztosítottuk.

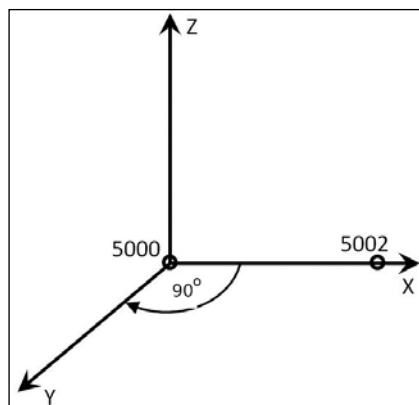
4.1. A vektoralapú, hagyományos módszerrel gyűjtött adatok szabatos feldolgozása

Ez a munkafázis a terepen gyűjtött adatoknak, a megfelelően választott helyi vonatkoztatási rendszerekben való, szabatos feldolgozása útján a pontok koordinátáinak számítását biztosítja, mely számításokat a **TERRAMODEL FDM** programrendszer felhasználásával oldottuk meg.

4.1.1. A helyi vonatkoztatási rendszer meghatározása

Helyi vonatkoztatási rendszerként a munkazóna konkrét feltételeinek figyelembe vételével, a munkazóna 3D-s terében Descartes-féle ortogonális, bal sodrású koordináta-rendszert határoztuk meg a következőképpen:

- Alapsík: a felmérési hálózat 5000 számú pontját érintő helyi vízszintes sík
- Kezdőpont (origó): a felmérési hálózat 5000 számú pontja, Koordinátái:
 - $X_o = 2000,000$
 - $Y_o = 1000,000$
 - $Z_o = 100,000$
- Koordináta-tengelyek:
 - X tengely az alapsíkban, a felmérési hálózat 5002 számú pontja felé, pozitív iránya az 5000-5002
 - Y tengely az alapsíkban, merőleges az X tengelyre, pozitív iránya az X tengely pozitív irányának az óramutató járásával megegyező derékszögű elforgatásával kapott irány
 - Z tengely a kezdőpont helyi függőlegese, pozitív iránya a zenit felé
- Méretarány: $m_x = m_y = m_z = 1,000$
- Mértékegység: méter (m)



2. ábra. A választott helyi koordináta-rendszer

4.1.2. A felmérési hálózat pontjairól gyűjtött adatok feldolgozása

A felmérési hálózat pontjairól gyűjtött adatokat az ismertett helyi vonatkoztatási rendszerben végeztük, a közvetett (indirekt) mérések módszerét alkalmazva, a következő sorrendben:

- A közelítő koordináták számítása
- A mérések szabatos kiegyenlítése, pontossági mutatószámok számítása
- Koordináták számítása a kiegyenlített mérések felhasználásával

4.1.3. A fotogrammetriai illesztőpontokról gyűjtött adatok feldolgozása

A fotogrammetriai illesztőpontokról gyűjtött adatokat az ismertett helyi vonatkoztatási rendszerben a poláris koordinátaszámítás módszerét alkalmazva végeztük.

A vektoralapú, hagyományos módszerrel gyűjtött adatok szabatos feldolgozására vonatkozó mennyiségi és minőségi információkat a programrendszer megfelelően dokumentálja. A felkínált információk

közül a számított koordinátákkal a pontok helymeghatározási pontosságát a kiegyenlítés során számított standard hibák középértékeivel jellemezhetjük:

$$\sigma_x^v = 0,0057 \text{ m}; \sigma_y^v = 0,0077 \text{ m}; \sigma_z^v = 0,0020 \text{ m}; \sigma_{xy}^v = 0,0093 \text{ m}; \sigma_{xyz}^v = 0,0096 \text{ m}$$

Ezt a munkafázist jellemző mennyiségi adatokat a 3. táblázat tartalmazza.

4.2. A raszteralapú, digitális fényképezési módszerrel gyűjtött adatok feldolgozása

A raszteralapú, digitális fényképezési módszerrel gyűjtött adatok feldolgozását az előbbieken bemutatott 3D-s helyi vonatkoztatási rendszerben végeztük. Ezzel a megoldással kiküszöböltük a romániai hivatalos vonatkoztatási rendszer Stereo70 vetülete által generált, a modellezésben nem elhanyagolható lineáris torzulásokat.

Az említett 10 munkacsoportba sorolt 909 digitális fényképet a **PhotoModeler UAS** programrendszerrel, a következő lépésekben dolgoztuk fel:

3. táblázat

A meghatározott pontok típusa	Meghatározott koordináták száma			
	X	Y	Z	ÖSSZESEN
A felmérési hálózat pontjai	11	11	11	33
Fotogrammetriai illesztőpontok	31	31	31	93
ÖSSZESEN	42	42	42	126

4. táblázat

Munka csoport	A meghatározott pontok száma	Számított koordináták száma	Pontossági mutatók a digitális fényképeken
			Pontjelölések átlagos standard hibája a fényképeken σ_{pj}^R (pixel)
Dron	5 687 331	17 061 993	0,858
O1	2 861 766	8 585 298	0,725
O2	8 406 096	25 218 288	0,961
B1	7 218 019	21 654 057	1,052
B2	5 079 279	15 237 837	0,955
B3	8 388 660	25 165 980	1,028
T1	4 287 303	12 861 909	0,984
T2	1 665 377	4 996 131	0,976
T3	1 713 033	5 139 099	0,795
T4	4 736 951	14 210 853	0,835
ÖSSZESEN	50 043 815	150 131 445	9,169
ÁTLAG	-	-	0,917

- **A digitális fényképek tájékozása** – E munkafázis során a következő fotogrammetriai feladatokat oldottuk meg: A digitális fényképek belső tájékozását, A digitális fényképek külső tájékozását

- **A fotogrammetriai pontmeghatározás** – E munkafázis során a következő fotogrammetriai feladatot oldottuk meg: A helyi vonatkoztatási rendszerben meghatározott X, Y, Z koordinátájú diszkrét pontok halmazának, a pontfelhőnek a létrehozását

A feldolgozott adatok és az eredmények mennyiségét és az effektív számítási időt a 4. táblázat tartalmazza.

A pontok és a számított koordináták számát, valamint az adatfeldolgozás eredményeinek pontossági

mutatószámait az 5. táblázatba foglaltuk.

A fotogrammetriai pontok felmérési hálózatba való illesztési pontosságát két típusú mutatószámmal elemezhetjük:

- A fényképeken meghatározott értékekkel:
 - A fényképeken végzett pontjelölések átlagos standard hibáinak középértékével (0,917 pixel)
 - A hibavektorok átlagos standard hibáinak középértékével (1,917 mm)
 - Az illesztőpontokban számított koordinátakülönbségek középértékeinek átlagával (3,918 mm)

Az alkalmazott vektor- és raszteralapú módszerekkel meghatározott pontok elhelyezkedését a 3. ábra mutatja.

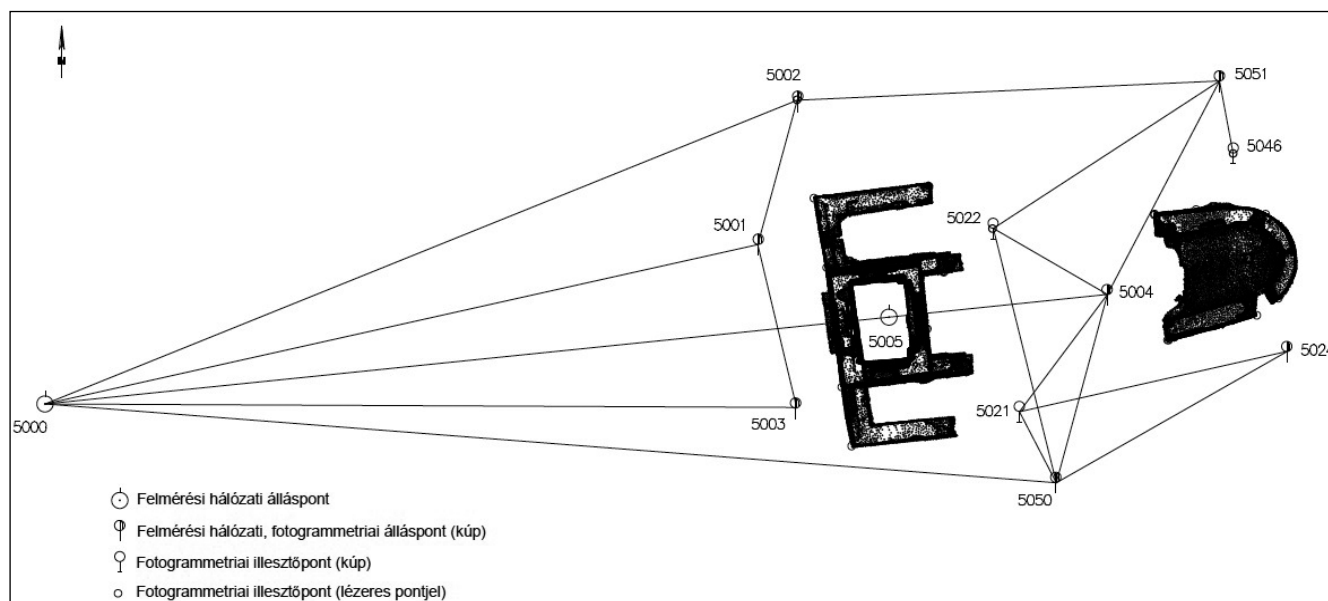
A helyi rendszerben $42 + 50\,043\,81 = 50\,043\,857$ diszkrét pontot tartalmazó ponthalmaz elemei alkotják a megvalósítandó térmodellezés kiinduló adatait.

4.3. Az adatfeldolgozás eredményeinek átszámítása a hivatalos romániai vonatkoztatási rendszerbe

A pontoknak a helyi vonatkoztatási rendszerben számított $(XYZ)_L$ koordinátái, a hivatalos romániai vonatkoztatási rendszerbe a $P_{i=1..8}$ közös pontok $(XYZ)_L$ és $(XYZ)_{i=1..8}$ koordinátáit használva, a professzionális programrendszerekkel számíthatók. A felmérési hálózat és a fotogrammetriai illesztőpontok helyi rendszerben számított koordinátáit átszámítottuk a

5. táblázat

Munka csoport	A digitális fényképek száma		A meghatározott pontok száma			Adatfeldolgozásra fordított effektív számítási idő (óra:perc:másodperc)		
	Készített	Feldolgozott	Kapcsoló pontok	Pontfelhő	ÖSSZESEN	A digitális fényképek belső és külső tájékozása	A fotogrammetriai pontmeghatározás	ÖSSZESEN
Dron	35	35	12 092	5 675 239	5 687 331	00:06:14	00:20:40	00:26:54
O1	57	57	45 005	2 816 761	2 861 766	00:07:42	00:17:37	00:25:19
O2	99	99	36 226	8 369 870	8 406 096	00:12:40	00:32:45	00:45:25
B1	104	104	30 262	7 187 757	7 218 019	00:14:09	00:40:37	00:54:46
B2	107	107	27 510	5 051 769	5 079 279	00:14:09	00:17:30	00:31:39
B3	110	110	36 990	8 351 670	8 388 660	00:15:10	00:41:23	00:56:33
T1	120	120	31 579	4 255 724	4 287 303	00:12:22	00:16:08	00:28:30
T2	52	52	16 700	1 648 677	1 665 377	00:05:37	00:10:12	00:15:49
T3	32	32	23 916	1 689 117	1 713 033	00:04:48	00:23:02	00:27:50
T4	193	193	67 716	4 669 235	4 736 951	00:15:34	00:14:37	00:30:11
ÖSSZESEN	909	909	327 996	49 715 819	50 043 815	01:48:25	03:54:31	05:42:56



3. ábra. Áttekintő vázlat a felmérési hálózati, illesztő- és szkennelt pontok elhelyezkedéséről

hivatalos romániai vonatkoztatási rendszerbe. A két vonatkoztatási rendszerben számított koordinátákat használtuk a munka során.

5. Termék-előállítás

A tervezett termékeket két csoportba soroltuk: alaptermékek és levezetett termékek, amelyek a kiinduló adatok formája, tartalma és eredete, valamint az elért eredmények típusa, előállítási módja és tulajdonságai alapján különböznek egymástól. Az első csoportba tartozó termékek az **alaptermékek**: a munkazóna és a tamáshidai rombazilika 3D-s modelljei. Ezeket a térmodelleket a kiinduló adatok, az **50 043 857** pont feldolgozásával megvalósított digitális térmodellezéssel állítottuk elő. A második csoportba tartozó termékek a **levezetett termékek**, melyek kiinduló adatai az előállított térmodellek. Azok megfelelő, célirányos feldolgozása során eredményként néhány levezetett terméket szerkesztettünk. A levezetett termékek tárházának csak a megoldandó konkrét feladat, a rendelkezésre álló informatikai háttér és a szakmai, valamint az informatikai felkészültség szabhat határokat.

5.1. Az alaptermékek előállítása

A munkaterület és a tamáshidai rombazilika térmodelljei alkotják az e munkánk során előállított alaptermékeket. A helyi vonatkoztatási rendszerben diszkrét pontokból álló pontfelhőre támaszkodó, folyamatos, megszakítások nélküli felületet generáltunk. Ez a diszkrét pontokra támaszkodó, folytonos felület generálása a pontfelhő pontjaiból egymáshoz kapcsolódó háromszögek – mint elemi felületek – létrehozásán alapul. Az így szerkesztett modellekhez kapcsoltuk a valós felületek raszteres adathordozókon tárolt vizuális információit, a textúrákat. Ennek a munkafázisnak az eredményei a térmodellek, melyek a valós világ általunk modellezett összetevőinek vizuálisan is azonos, digitális másai. E komplex, digitális térmodellezési feladatot a már említett **PhotoModeler UAS** programrendszer által felkínált megoldások alkalmazásával oldottuk meg.

Az előállított modellek pontossági minősítését a vektor- és raszteralapú

adattfeldolgozás során, az alkalmazott programrendszerek által számított és a 4.1.3. és a 4.2. alpontokban ismertetett σ_{xyz}^v és $(\Delta^R_{IP})_0$ helymeghatározási pontossági mutatószámok alapján elemezhetjük. Az előállított digitális térmodellek standard középhibája 10 mm. Ez az érték az előállított digitális modellek térbeni helyzeti átlagos hibáit jellemzi. A munkaterület 3D-s modelljét az előbbiekben leírt módon állítottuk elő. A kiinduló adatok: **35** légi fénykép és a pontfelhő **5 687 331** diszkrét pontja. A pontok megfelelő feldolgozásával **326 165** háromszöget (mint elemi felületet) generáltunk. Ezen elemi felületek összessége képezi a munkazóna digitális térmodelljét, amelyhez a megfelelő textúrát kapcsoltuk.

A tamáshidai rombazilika modellje esetében a kiinduló adatok: 874 földi fénykép és a pontfelhő 44 356 484 diszkrét pontja. A pontok megfelelő feldolgozásával 6 864 126 háromszöget (mint elemi felületet) generáltunk. Ezen elemi felületek összessége képezi a rombazilika digitális térmodelljét, amelyhez a megfelelő textúrát kapcsoltuk. Az alaptermékeket digitális formátumban generáltuk, és megfelelő adattárakban rögzítettük.

5.2. A levezetett termékek előállítása

A levezetett termékek csoportját azok a termékek alkotják, melyeket a már rendelkezésre álló térmodellek megfelelő feldolgozásával állíthatók elő. Ebben az esetben a térmodelleket kiinduló adatforrásként értelmezzük, melyekről az előállítandó levezetett termékek által igényelt adatokat célirányosan lehet gyűjteni. A levezetett termékek előállítását a **PhotoModeler UAS** programrendszer által felkínált lehetőségek célirányos alkalmazásával oldjuk meg. A modellek felhasználói a rendelkezésükre álló professzionális, 3D-s adatokat kezelő CAD-típusú programrendszerek (**AutoCAD**, **ArchiCAD stb.**) lehetőségeit alkalmazva maguk állíthatják elő a számukra szükséges és megfelelő termékeket, amelyek a modellezettre vonatkozó, meghatározott célú beavatkozások tervezését támogatják. A 3D-s

modellek és az alkalmazott CAD-típusú programrendszerek közötti formátumkompatibilitás kérésre megoldható.

A különböző kiterjedésű terekben számos termék előállítására van lehetőség:

- A 0D-s térben: a szükséges pontok koordinátalistája
 - Az 1D-s térben: pontok közti távolságok
 - A 2D-s térben: felületek, területek, szögek, vetületek, metszetek, profilok, ortofotók
 - A 3D-s térben: térfogatok, tömegek, 3D-s térképek, makettek
- A munka folyamán a következő levezetett termékeket állítottuk elő:
- A tamáshidai rombazilika térmodellje, keleti nézet
 - A tamáshidai rombazilika térmodellje, nyugati nézet
 - Különböző adatok meghatározása: távolság, távolság vetülete, szög, koordináták
 - A tamáshidai rombazilika alaprajza +1,50 m magassági szinten
 - Függőleges metszetek
 - Homlokzati ortofotók:
 - A déli homlokzat ortofotója
 - Az északi homlokzat ortofotója
 - A keleti homlokzat ortofotója
 - A nyugati homlokzat ortofotója
 - A munkazóna ortofotója

A levezetett termékeket digitális formátumban generáltuk, és megfelelő adattárakban rögzítettük. Az előállított termékekre vonatkozó szakmai utasításoknak megfelelően, a helyi vonatkoztatási rendszerben előállított termékeket az 4.3. alpontban leírt módon meghatározott paraméterek felhasználásával, eltolással és forgatással illesztettük a hivatalos romániai vonatkoztatási rendszerbe. Az illesztés nem változtatja meg a termékek tulajdonságait (struktúra, alak, méretek, pontosság stb.).

5.3. Az előállított termékek megjelenítése

Az előállított alap- és levezetett termékek hatékony felhasználása érdekében szükséges azok megfelelő megjelenítése. Az előállított termék típusa és felhasználásának célja meghatározzák azok megjelenítését a virtuális és/vagy valós anyagi térben.

5.3.1. Megjelenítés a virtuális térben

Az irodai munkafázisok eredményeit, az előállított alap- és levezetett termékeket, a virtuális térben, a számítógépeink képernyőin jelenítettük meg, megteremtve egy sor célirányos feladat – méretarány-változtatás, forgatás, célirányos információ- és adatgyűjtés, felület, terület, térfogatszámítás stb. – megoldásának lehetőségét. Ez a megjelenítési mód a digitális technológiákban ismert, rutin eljárás.

5.3.2. Megjelenítés a valós, anyagi térben

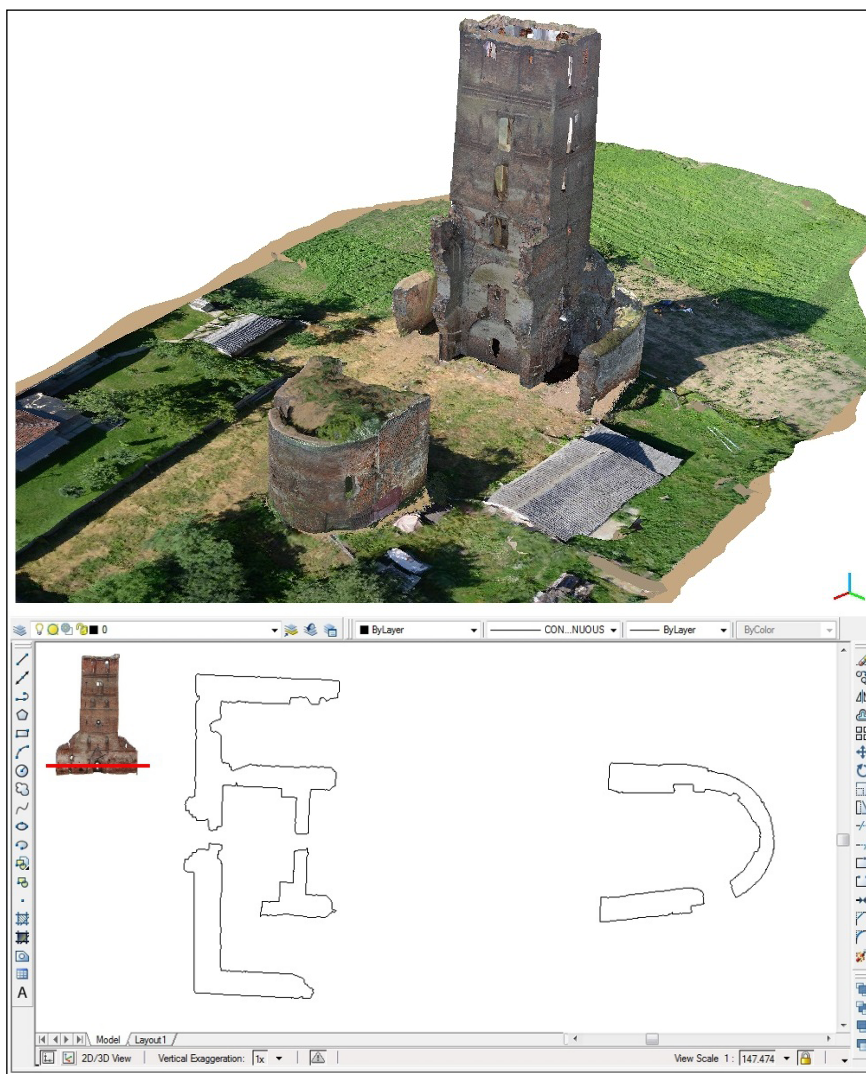
Az irodai munkafázisok eredményeit, az előállított alap- és levezetett termékeket a valós, anyagi térben papíron, megfelelő méretarányú színes **2D-s nyomtatással** (mely ismert és rendszeresen alkalmazott rutin eljárás), valamint **3D-s nyomtatással** (mely szakmánkban még kevésbé ismert új eljárás) jelenítettük meg:

Megjelenítés 2D-s nyomtatással

– Az irodai munkafázisok eredményeként a levezetett termékek közül néhányat azok képeinek (4. ábra) bemutatásával jelenítjük meg.

Megjelenítés 3D-s nyomtatással

– Az irodai munkafázisok eredményei közül az alaptermékek megjelenítését oldottuk meg ezzel az eljárással. Figyelembe véve a 3D-s nyomtatás újszerű jellegét, a továbbiakban röviden ismertetjük az általunk használt megoldás menetét. Kiinduló adatként a munkazóna és a tamáshidai rombazilika térmodelljeinek egyesítése útján létrehozott, OBJ-formátumú digitális térmodellt használtuk. A 3D-s nyomtatással előállítandó termékek tervezése során a nyomtatandó modellrész nagyságát (szélesség: 21 m, hosszúság: 35 m, magasság: 21 m), a megfelelő méretarányokat (1:500, 1:200 és 1:100) és a nyomtatás felbontását (nyomtatási rétegvastagság: 0,2 mm) választottuk ki. Ezután az OBJ-formátumú, egyesített modell választott részét GCODE-formátumú 3D-s nyomtatási programmá alakítottuk, amelyben a nyomtatás igényeinek megfelelő modelljavítást is elvégeztünk. A választott méretaránynak megfelelő, elfogadott 3D-s nyomtatási programot SD-kártyán



4. ábra. A tamáshidai rombazilika térmodellje (keleti nézet) és alaprajza +1,50 m magassági szinten

6. táblázat

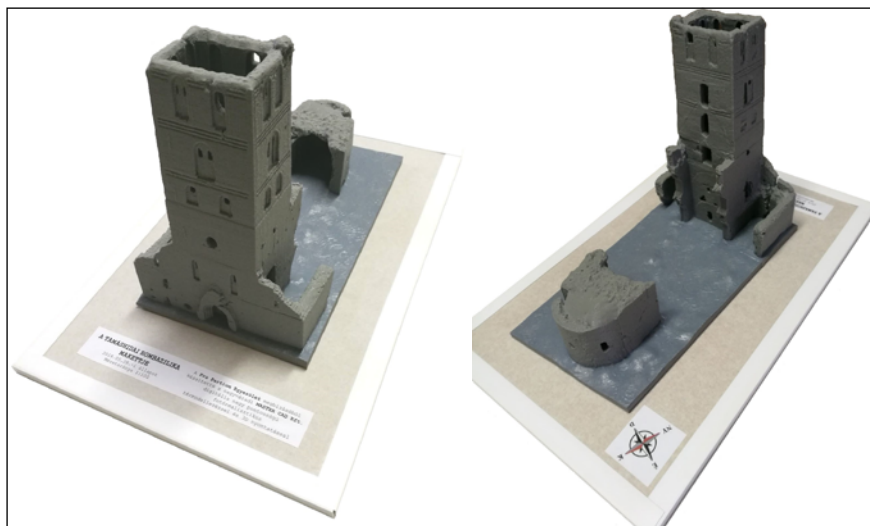
3D nyomtatási méretarány	Makett méretek (mm)			Felhasznált PLA-nyomtatószal (gramm)	3D-s nyomtatási idő (óra)
	Hosszúság	Szélesség	Magasság		
1:500	70,68	42,24	44,72	50	2
1:200	176,7	105,6	111,8	100	6
1:100	353,4	211,2	223,6	400	30
ÖSSZESEN	-	-	-	550	38

rögzítettük. A 3D-s nyomtatást a Bq Hephestos 2.0 3D-s nyomtatónkkal, PLA-nyomtatószálat használva végeztük. A 3D-s nyomtatás eredménye a választott méretarányú, nagy pontosságú makett. A makett kivitelezésével és véglegesítésével (az 1:100 méretarányú makett nagyobb hangsúlyt kapott) zártuk a 3D-s nyomtatással végzett megjelenítést. A nyomtatást jellemző főbb információkat a 6. táblázat tartalmazza.

A megvalósított 1:100 méretarányú makettet az 5. ábra szemlélteti.

6. Következtetések

A bemutatott munka sikeres elvégzését a rendelkezésünkre álló technológiai lehetőségeink teljes skálájának hatékony alkalmazása biztosította, az adatgyűjtés, adatfeldolgozás és termék-előállítás terén. Kijelenthetjük, hogy az alkalmazott technológiával megvalósított digitális térmodellezés és a térmodell célirányos felhasználása a tamáshidai rombazilika restaurálási munkálatainak tervezési és kivitelezési fázisaiban szükséges adatok,



5. ábra. A tamáshidai bazilika makettje

információk gyűjtését és számos grafikai termék szerkesztését biztosíthatja. E rendelkezésre álló lehetőségeket szakmailag és informatikailag megfelelően felkészült, a digitális térmodell célirányos használatára képes, motivált szakemberekből álló felhasználók változtathatják valósággá.

A felmérés maga hagyományos mérési módszerekkel csak hatalmas munka, idő- és pénzráfordítással lett volna lehetséges, és bizonyos, hogy így sem születtek volna olyan pontos eredmények, mint melyeket a választott modern digitális mérési technológia lehetővé tett. Ennek okai, hogy az épület alaprajza egyrészt teljesen szabálytalan; az épület állapota egyébként is komoly munkavédelmi aggodalmakat vetett volna fel egy közvetlen kézi mérés esetében, másrészt szintén csak nehezen és segédmunkálatok, állványozások segítségével lett volna lehetséges a több mint 21 m magas torony felmérése.

Éppen ezért volt hatalmas segítség az a technológia, melyet Bihar megyében a tamáshidai rombazilika kapcsán úttörő módon sikerült a műemlékvédelem területén először hasznosítani. A megrendelőnek első lépésben az épület építészeti felmérésére volt szüksége: alaprajzokra, metszetekre és homlokzati rajzokra. Azonban a felhasznált technológia amellest, ami idő- és költségkímélő volt, ennél sokkal többet

nyújtott, hiszen a mérés eredménye egy a valóságot a választott hibahatáron belüli eltérések szerint leképező nagy pontosságú térmodell lett, mely ráadásul a használt építészeti és mérnöki rajzszoftverek számára is értelmezhető. A kapott modell lehetővé teszi a tervezők számára, hogy újabb terepmunka nélkül, gyakorlatilag bármilyen térbeli információt megkapjanak. A generálható metszetek és nézetek száma végtelen és helyzetfüggetlen. Ez egyébként a kivitelezés esetében is komoly segítség lesz, hogy csak egy gyakorlati példát említsünk, a szentély katasztrófális állapotban lévő dongaboltozatának megerősítéséhez a zsálatatot minden további mérés nélkül, előregyártva lehet majd kiszállítani a helyszínre.

A tervek szerint az épület a helyreállítást követően sem fog egyházi célokat szolgálni, hiszen a település mintegy ötödét kitevő református közösségnek van temploma, katolikus gyülekezet pedig nem maradt. A felújítás két szempont szerint is hasznos, hiszen a felbecsülhetetlen művelődéstörténeti jelentőségéről már szóltunk, ugyanakkor a későbbiekben a műemlékes szakértőkkel közösen meghatározott építészeti megoldásokkal ismét funkcionálissá tett egykori bazilika olyan közösségi térre alakulhat, mely idegenforgalmi értéke mellett a kistérség magyar kulturális életét is szolgálni fogja.

Irodalomjegyzék

1. Erdélyi M. – Ferencz J. 2014. Légi felvételezési platformunk, az MK OKTO XL oktokofter , XV. Földmérő találkozó, (ISSN 1843-1224), Arad
2. <https://www.photomodeler.com/applications/architecture/default.html> (Utolsó elérés: 2018. 11. 20.)

Summary

The current paper presents the possibilities of using high-precision, photo-realistic spatial modeling technology, digital models for monument restoration. With the spatial modeling work done and presented, we supported the restoration works of a monumental building by its accurate 3D survey. We have put great emphasis on the detailed specifications of the high-precision measurement technologies and techniques used, as well as the use of 3D models and their derived architectural products for efficient and reliable use in monument restoration.

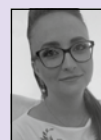
Kulcsszavak: restaurálás, térmodell, Photomodeler, fotogrammetria, 3D-s nyomtatás

Keywords: restoration, 3D model, Photomodeler, photogrammetry, 3D printing



Dr. Erdélyi Marcell
földmérőmérnök

MASTER CAD Kft., Nagyvárad
climen84@gmail.com



Csomortányi Adél
építészmérnök

Nagyvárad
csomortanyi.adel@gmail.com